

Ansätze zur kartographischen Gestaltung von 3D-Stadtmodellen

AMIR SEMMO¹, MATTHIAS TRAPP² & JÜRGEN DÖLLNER³

Zusammenfassung: Virtuelle 3D-Stadtmodelle haben sich zu einem wirkungsvollen Medium für die interaktive Kommunikation von komplexen raumbezogenen Informationen entwickelt. Die Effektivität dieser Kommunikation hängt dabei wesentlich an der Qualität der grafischen Abbildung und der damit verbundenen kartographischen Gestaltung ab. In der Computergrafik stellt die nicht-photorealistische Bildsynthese ein umfangreiches, innovatives Repertoire für die grafische Gestaltung bereit, die eine wirkungsvolle Visualisierung komplexer raumbezogener Informationen ermöglichen. In dieser Arbeit stellen wir Ansätze zur kartographischen Gestaltung von virtuellen 3D-Stadtmodellen vor. Hierbei werden Grundprinzipien der nicht-photorealistischen Bildsynthese und der Kartographie in Verbindung mit der Semantik des virtuellen 3D-Stadtmodells dazu verwendet, um eine semantikbasierte Stilisierung von 3D-Stadtmodellen zu erreichen und damit eine nutzer-, kontext- und medienadäquate Repräsentation thematischer Informationen zu ermöglichen. Die vorgestellten Visualisierungsansätze sind echtzeitfähig implementierbar und erlauben so z.B. eine dynamische Stilisierung von Geo-Features zur Laufzeit, wodurch sich u.a. Szenarien zur interaktiven Exploration von thematisch-stilisierten Features bzw. feature-bezogenen Daten entwickeln lassen.

1 Einleitung

Aufgrund der steigenden Leistungsfähigkeit von Computergrafik-Hardware und der damit möglichen Echtzeit-Visualisierung von massiven, komplexen Geodaten lassen sich virtuelle 3D-Stadtmodelle als interaktives und mannigfaltig einsetzbares Medium nutzen. Virtuelle 3D-Stadtmodelle präsentieren eine spezialisierte Form geovirtueller 3D-Umgebungen und sind im Allgemeinen gekennzeichnet durch ein zugrunde liegendes 3D-Geländemodell, darin befindlichen 3D-Bebauungsmodellen sowie des dazu komplementären Straßen-, Grünflächen- und Naturraummodells. Virtuelle 3D-Stadtmodelle abstrahieren dabei gezielt von der Realität, um die Verständlichkeit und Wahrnehmbarkeit ausgewählter Informationsaspekte zu ermöglichen. Allerdings sind die meisten Visualisierungssysteme für diese Modelle durch ihre photorealistische Darstellung gekennzeichnet, die größtenteils eine explizite kartographische Gestaltung der dargestellten Informationen einschränkt bzw. ausschließt. Viele Anwendungsgebiete erfordern jedoch eine explizite grafische, semantik- und semiotik-sensitive Gestaltung, z.B. im Fall der effizienten Kommunikation von Features zu einer schnellen Entscheidungsfindung oder bei Anwendungen, bei denen aus Prinzip eine photorealistische Visualisierung nicht anwendbar ist, z. B. im Fall abstrakter oder thematischer Informationen.

¹ amir.semmo@student.hpi.uni-potsdam.de

² matthias.trapp@hpi.uni-potsdam.de

³ doellner@hpi.uni-potsdam.de



Abb. 1: Links: Monotone Stilisierung eines 3D-Stadtmodells. Rechts: Erweiterte kartographische Gestaltung durch Kopplung der Abstraktionsverfahren an die Objektsemantik.

Besonders im Gebiet der kartenähnlichen und kartenverwandten 3D-Darstellungen stellen u.a. *automatische Verfahren und Techniken zur Stilisierung und Abstraktion* eines 3D-Stadtmodells eine Herausforderung für die interaktive 3D-Bildsynthese dar. Hier spielt insbesondere die grafische Hervorhebung potentiell wichtiger Information und der damit verbundenen Reduzierung der kognitiven Belastung der Nutzer eine wesentliche Rolle.

Bereits mit Anbeginn der ersten künstlerisch und kartographisch verwandten Darstellungen von 3D-Stadtansichten im Mittelalter, haben Künstler von den Techniken der Abstraktion und Hervorhebung von Informationen Gebrauch gemacht, um den Informationsgehalt ihrer Illustrationen zu verstärken und zu fokussieren. Während sich erste Visualisierungen noch auf Landmarken, eingebettet in eine meist hochgradig abstrahierte Umgebung, konzentrierten, berücksichtigten weiterentwickelte kartographische Modelle erstmals auch geometrische Eigenschaften und Relationen. Prominente Beispiele sind Panoramen und Vogelperspektiven von Städten, u. a. von H. C. BERANN (1915-1999). In Hinblick auf die historischen kartographischen Darstellungen, sind Verfahren und Techniken zur nicht-photorealistischen Bildsynthese (GOOCH et al., 2011) ein bewährtes Mittel der Computergrafik, um reguläre, artistische Stile nachzuahmen und auf der Intention aufzubauen, komplexe Inhalte zu kommunizieren, indem potentiell wichtige Attribute und Features (z.B. Gebäude, Straßen, Gewässer) hervorgehoben bzw. weniger wichtige Informationen abstrahiert werden. Als Konsequenz vermögen nicht-photorealistische Repräsentationen insbesondere den "Blick" eines Betrachters zu führen bzw. das Interesse auf bestimmte Bereiche einer Illustration zu lenken (COLE, et al., 2006). Daher lassen sie sich auf vielfältige allgemeine Probleme graphischer Illustrationen und Visualisierungen anwenden (SANTELLA, 2005).

Eine direkte Anwendung dieser Techniken auf die Visualisierung virtueller 3D-Stadtmodelle ermöglicht bereits eine hohe Gestaltungsfreiheit, führt allerdings zu überwiegend "monotonen Illustrationen" (Abb. 1). Wir gehen in diesem Beitrag jedoch von der These aus, dass es für die effektive Kommunikation von 3D-Geoinformationen mit Hilfe von virtuellen 3D-Stadtmodellen einer Kopplung der nicht-photorealistischen Bildsynthese an semantische Informationen bedarf,

um die Stilisierung auf Feature-Ebene zu ermöglichen. Es finden sich erste theoretische Arbeiten dazu im Kontext der Stilisierung für Web-Visualisierungsdienste (z.B. ZIPF, 2005).

Diese Arbeit präsentiert ein Konzept und dessen prototypische Umsetzung, die die Auswahl und Parametrisierung von nicht-photorealistischen Darstellungstechniken auf Basis von Objektsemantiken erlauben. Dies ermöglicht die Zuweisung unterschiedlicher automatischer Abstraktionstechniken zu Objekten und Objektgruppen. Der vorgestellte Ansatz ist echtzeitfähig implementierbar und erlaubt eine interaktive, dynamische Klassifikation von Objekten und Features zur Laufzeit, wodurch sich u.a. Szenarien zur interaktiven Exploration von thematisch-stilisierten Features bzw. feature-bezogenen Daten ermöglichen lassen. Dieser Ansatz eröffnet Möglichkeiten für eine gezielte und systematische kartographische Gestaltung von 3D-Stadtmodellen sowie deren echtzeitfähige Implementierung durch entsprechende 3D-Visualisierungsdienste (HAGEDORN et al., 2009).

2 Verwandte Arbeiten

Eine allgemeine Einführung in die nichtphotorealistische Bildsynthese und verschiedener grundlegender Verfahren finden sich bei STROTHOTTE & SCHLECHTWEG (2002); eine Zusammenfassung wesentlicher technischer Verfahren geben GOOCH et al. (2011). Die Stilisierung und illustrative Visualisierung speziell von virtuellen 3D-Stadtmodellen findet sich bei DÖLLNER et al. (2005), die illustrative Visualisierungstechniken zur abstrakten Darstellung von 3D-Stadtmodellen beschreiben. Auf Basis von Grundrissen, Gebäudehöhen und verknüpften thematischen Informationen werden Gebäude- und Fassadenmodelle prozedural generiert, die mit Hilfe von stilisierten Kanten hervorgehoben werden. DÖLLNER & WALTHER (2003) beschreiben darüber hinaus echtzeitfähige Techniken der Bildsynthese zur illustrativen Darstellung von 3D-Stadtmodellen, darunter die Stilisierung von perzeptorisch wesentlichen Kanten, die Darstellung skizzenhafter Schatten sowie die Schattierung über abgestufte Farbtöne. BUCHIN et al. (2004) beschreiben Verfahren zur kartographischen Darstellung von digitalen Geländemodellen, bei denen traditionelle Relief-Präsentationen der freien Schraffen und der Böschungsschummerung imitiert werden. Neben einer effizienten Kommunikation von 3D-Geländemodellen werden darüber hinaus durch die nicht vollflächige Bedeckung von Schraffen, ergänzende thematische Informationen in die Visualisierung integrierbar.

3 Semantikbasierte kartographische 3D-Stadtmodellvisualisierung

Die kartographische Gestaltung von virtuellen 3D-Stadtmodellen orientiert sich im Wesentlichen an zwei Abstraktionsverfahren:

- Reduzierung der geometrischen Komplexität des Primär- und Sekundärmodells
- Reduzierung der visuellen Komplexität bei der Darstellung des Sekundärmodells.

Die Grundlage für dieses Herangehen an semantikbasierte, kartographische Stadtmodellvisualisierung bilden verschiedene Generalisierungsoperationen (Abb. 2), die innerhalb der Visualisierungspipeline in den verschiedenen Stufen eingebracht sind (WARE, 2000). Die Anwendung dieser Operatoren erfolgt bei der Filterung der Rohdaten bzw. Abbildung des Primärmodells auf eine generalisierte, computergraphische Repräsentation (Sekundärmodell),

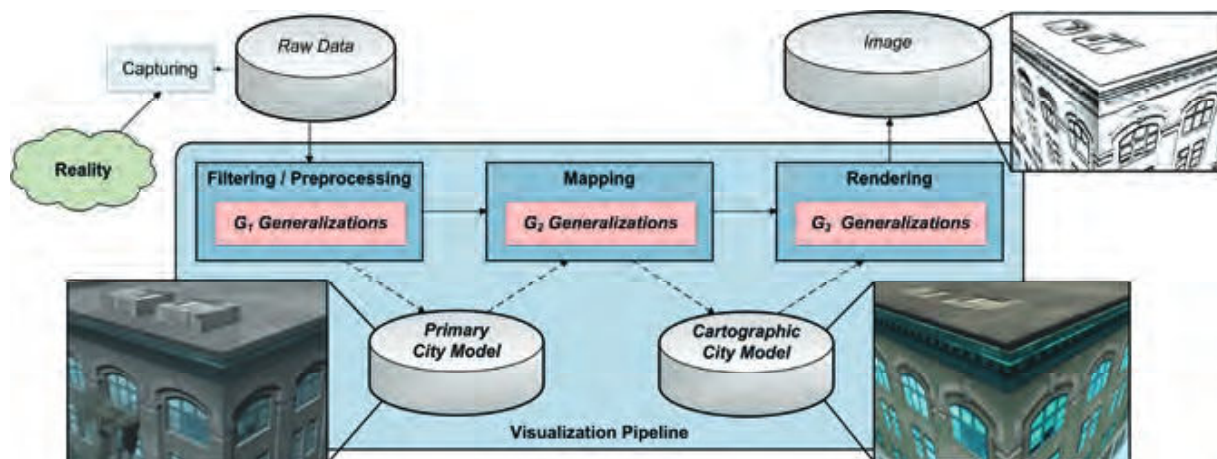


Abb. 2: Die Visualisierungspipeline mit Generalisierungsoperatoren, die die semantikbasierte, kartographische Visualisierung implementieren.

mit dem Ziel die geometrische Komplexität zu reduzieren. Dieses "kartographische 3D-Stadtmodell" ist dann Ausgangsbasis für die kartographische Darstellung und Reduzierung der visuellen Komplexität.

Die automatische Generalisierung von primären 3D-Stadtmodellen wird u.a. ausführlich von GLANDER & DÖLLNER (2008) betrachtet. Der Schwerpunkt in dieser Arbeit liegt stattdessen auf der Visualisierung des kartographischen 3D-Stadtmodells. Hierbei ist es notwendig, die 3D-Features zu klassifizieren, um eine semantisch-kohärente Darstellung von 3D-Geoinformationen zu ermöglichen. Grundlegende semantische Aspekte von 3D-Stadtmodellen finden sich bereits im internationalen Standard für Stadtmodelle (CITYGML, 2008). Allerdings besitzen viele derzeit verfügbaren 3D-Stadtmodelle keine expliziten semantischen Informationen, z. B. im Fall von 3D-Stadtmodellen, die automatisiert abgeleitet werden. In der Filterungsphase der Visualisierungspipeline verwenden wir daher zunächst ein semi-automatisches Klassifizierungsverfahren, das jedem Feature eine Semantikklasse zuordnet. Für die Zuordnung betrachten wir ausschließlich das Erscheinungsbild des Primärmodells, bei dem wir zwischen Textur und Material unterscheiden. So lassen sich 3D-Features, die dieselbe Textur referenzieren, oder 3D-Features mit demselben Material gruppieren. Dieses Behelfsverfahren hat sich für das Testen von und das Experimentieren mit kartographischen Gestaltungsverfahren als in der Praxis leistungsstark erwiesen, wenngleich eine optimale Lösung darin besteht, ein explizit semantik-klassifiziertes 3D-Stadtmodell zu benutzen.

4 Kartographische Gestaltung über Informationsabstraktion

Im Nachfolgenden betrachten wir das Potential und die Anwendungen der Kopplung von Objektsemantik an Abstraktionstechniken anhand der Abstraktion über Kolorierung und Texturfilterung, der Hervorhebung von Kanten im Bild- und Objektraum sowie der Transparenz von Objektflächen.



Abb. 3: Links: Divergierendes Farbschema zur Darstellung von Feature-Klassen. Rechts: Sequentielles Farbschema zur Kommunikation thematischer Informationen von Feature-Klassen.

4.1 Kolorierung

In der Kartographie ist die Kolorierung von Flächen, Linien und Punkten eine der Haupttechniken in Hinblick auf die graphische Gestaltung (neben anderen visuellen Variablen). Gegenüber monochrom gestalteten Karten besitzen chromatisch gestaltete Karten ein wesentlich höheres Potential, die Aufmerksamkeit auf wichtige Informationen zu lenken, diese abzuschwächen oder hervorzuheben. Hierbei stellt die Kolorierung im Rahmen des Designs von kartographischen Repräsentationen eine große Herausforderung dar, wenn es darum geht Präferenzen, Konventionen und typographische Merkmale abzuwägen. BREWER (1994) beschreibt Konventionen für den Umgang mit Farben in der Kartographie, bei denen in Abhängigkeit der zu kommunizierenden Informationen eine Unterscheidung beim zu verwendenden Farbschema getroffen wird: Binäre Farbschemata für nominelle Differenzen von zwei Kategorien, qualitative Farbschemata für die nominelle Unterscheidung über den Farbton, divergierende Farbschemata, um quantitativ Daten um einen kritischen Mittelpunkt zu kommunizieren, sowie sequentielle Farbschemata für eine logische Anordnung kontinuierlicher Datensätze. Für die kartographische Gestaltung von virtuellen 3D-Stadtmodellen besitzt die Kolorierung von Flächen einzelner 3D-Features in Abhängigkeit zur Semantik großes Potential für die Unterscheidbarkeit von Feature-Klassen und der hierarchischen Anordnung von Unterklassen, um so z. B. semantische Abstufungen vornehmen zu können. Ein divergierendes bzw. qualitatives Farbschema kann 3D-Geoinformationen z. B. dann effizient kommunizieren, sobald eine visuelle Abgrenzung von logisch- oder geographisch-assoziierten Features angestrebt wird. Hingegen ist ein sequentielles Farbschema oftmals repräsentativ, sobald ein Spektrum kontinuierlicher Daten visualisiert werden soll, wie es z. B. bei der Kommunikation thematischer Informationen der Fall ist (Abb. 3).

4.2 Stilisierung von Objekttexturen

Texturen bilden eine wesentliche Kategorie von Informationsträgern für Objekte virtueller 3D-Stadtmodelle; sie vermögen insbesondere das Bild der natürlichen Erscheinung von Objekten wiederzugeben. Die Stilisierung von Objekttexturen ermöglicht daher entscheidend die kartographische Gestaltung von Stadtmodell-Visualisierungen zu beeinflussen. Bildbasierte Renderingtechniken verwenden zur Stilisierung Glättungs- und Verstärkungsfilter; sie filtern

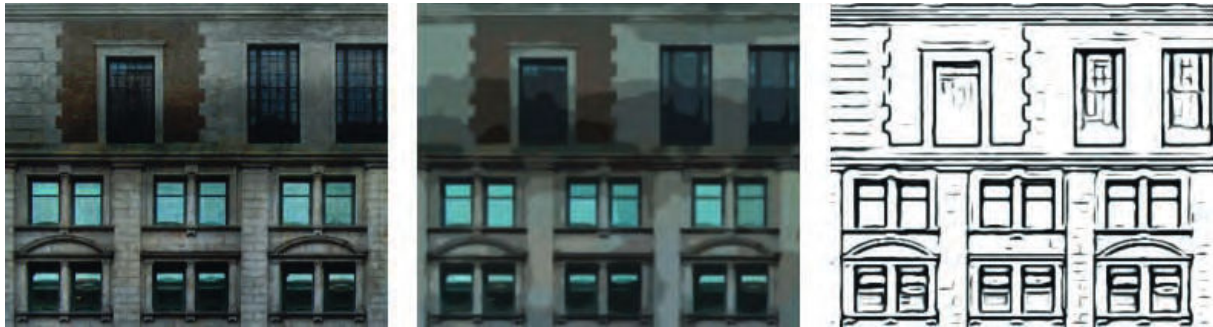


Abb. 4: Links: Originale Textur einer Gebäudefassade. Mitte: Abstraktion der Originaltextur, Rechts: Stilisierung der Fassade über Kanten hervorhebung.

subtile Details in Bereichen hoher Kontraste, gleichzeitig aber nicht über Unterbrechungen im Bild hinweg, um die Struktur des Ausgangsbildes zu erhalten.

Für die Abstraktion verwenden wir in unserem Ansatz einen *bilateralen Filter* und als Kantendetektionsfilter einen *Difference-of-Gaussians-Filter* (DoG) nach KYPRIANIDIS & DÖLLNER (2008). Das Potential der Kopplung dieser beiden Abstraktionstechniken mit einer semantikbasierten Filterung wurde von SEMMO et al. (2010) an Hand von Luftbildern gezeigt. Für eine semantikbasierte Stilisierung im Objektraum filtern wir die Texturen von den jeweiligen referenzierten Feature-Klassen zunächst im Texturraum und projizieren diese anschließend perspektivisch auf ihre Oberfläche. In Abhängigkeit der Feature-Klasse oder thematischen Darstellung findet eine stärkere oder weniger starke Quantisierung des Farbraums statt. Durch dieses adaptive Verfahren kann ein implizites Hervorheben wichtiger Features stattfinden, indem eine stärkere Abstraktion von weniger relevanten Features erfolgt. Darüber hinaus kann durch die verstärkte Darstellung von Kanten ein explizites hervorheben von Features vorgenommen werden. Diese können entweder separat dargestellt werden (Abb. 4) oder mit dem quantisierten Bild verblendet werden. Der semantische Aspekt kann so auf diskrete Weise von anderen Features abgegrenzt werden.

4.3 Hervorhebung von Kanten im Bild- und Objektraum

Die Hervorhebung von Objektkanten im Bildraum ist eine fundamentale Technik für die Stilisierung bei der Visualisierung von 3D-Szenen. Sie spielt insbesondere eine wichtige Rolle für das visuelle Abheben von 3D-Features und deren Abgrenzung zur Umgebung. Visuell wichtige Kanten treten i.d.R. an drei charakteristischen Stellen auf: Silhouetten, Strukturen der Objektoberfläche und an Objektgrenzen. Da Strukturen und Topologien effizienter vermittelt werden, fördert die Hervorhebung von Kanten den Prozess der mentalen Modellierung einer 3D-geovirtuellen Umgebung (Abb. 5). Im Zusammenspiel mit der Kolorierung kann die thematische Abgrenzung von Features hierbei zusätzlich verstärkt werden (Abb. 1).

Neben der Hervorhebung von Kanten im Bildraum ermöglichen texturbasierte Kanten im Objektraum einen erhöhten Freiheitsgrad bzgl. der Stilisierung (Abb. 5). Das Konzept von DÖLLNER & WALTHER (2003) verwendet texturierte Schraffen um handgezeichnete Feature-Kanten zu imitieren und unterstützt neben der Parametrisierung des Schraffentyps Überschneidungen an Eckkanten durch imaginäre Verlängerungen. Auf Basis einer

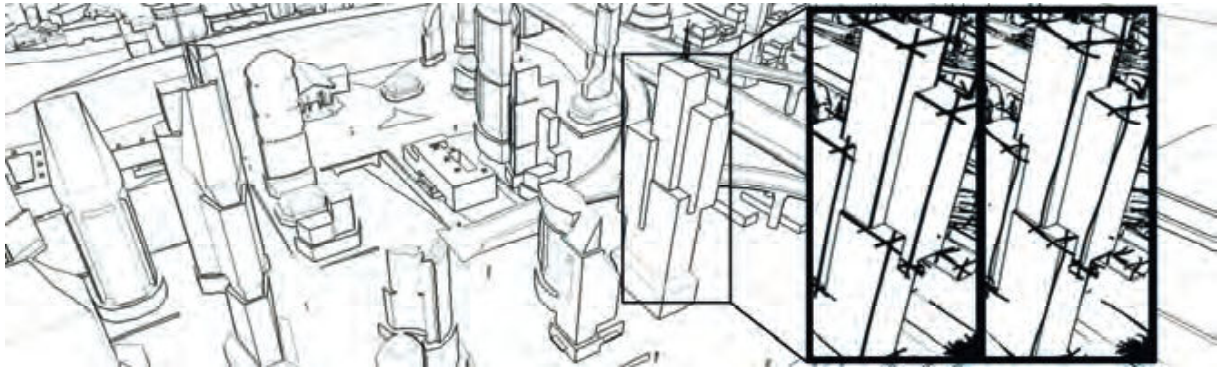


Abb. 5: Hervorhebung von Objektkanten im Bild- und Objektraum (Ausschnitt).

semantikbasierten Stilisierung, können Features so einen höheren Grad an Unsicherheit kommunizieren, z. B. bei der Darstellung von geplanten 3D-Bauwerksmodellen.

4.4 Transparenz

Die Verwendung von transparenter Geometrie ist ein weit verbreitetes Stilmittel, um Einsichten in die Kompositionen von komplexen Konstruktionen zu vermitteln. Transparente Darstellungen unterstützen so die Wahrnehmung komplexer 3D-Features und Strukturen, und sie verstärken die räumliche Abgrenzung zu benachbarten bzw. verdeckten Features. Neben der Kolorierung von Geometrieflächen besitzt die transparente und opake Darstellung das Potential binäre Objektzustände widerzuspiegeln. Ebenfalls kann ein kontinuierliches Spektrum innerhalb einer thematisch gleichgestellten Feature-Klasse visuell abgestuft werden, um z. B. einen vagen, zukünftigen Bebauungszustand widerzuspiegeln (Abb. 6). Darüber hinaus ermöglichen transparente Darstellungen eine zielgerichtete Abschwächung von 3D-Features. Im Rahmen einer kartographischen Gestaltung von 3D-Stadtmodellen, haben transparente Darstellungen daher das Vermögen die Sichtbarkeit zu erhöhen und 3D-Geoinformationen grafisch zu verstärken bzw. abzuschwächen.

5 3D-Bildsynthese in Echtzeit

In unserem Ansatz verfolgen wir das Ziel, die 3D-Bildsynthese in Echtzeit auch für komplexe virtuelle 3D-Statmodelle durchführen zu können, wobei zugleich eine flexible, voll konfigurierbare Stilisierung ermöglicht werden soll. Hierbei inbegriffen ist neben der manuellen Klassifizierung vorhandener Features auch die Parametrisierung der Stilisierung zur Laufzeit. Für eine semantikbasierte, kartographische Visualisierung ist es essentiell während der 3D-Bildsynthese jedem Feature seine Feature-Klasse zuordnen zu können. Zu diesem Zweck, wird neben der semi-automatischen Klassifikation von 3D-Features (Kapitel 3), jedem Feature eine eindeutige ID zugewiesen. Die Zuweisung von Feature-ID zu Feature-Klasse, sowie die Parametrisierung der Stilisierung jeder Feature-Klasse, werden dann als kodierte Textur aufbereitet. Diese Strukturen werden zur Laufzeit bei Neu- bzw. Umklassifizierungen aktuell gehalten.

Im Rahmen der Bildsynthese wird zur Implementierung als Grafik-API OpenGL 3.2 und die OpenGL Shading Language (GLSL) verwendet. Um das Erscheinungsbildes jedes einzelnen 3D-

Features dynamisch gestalten zu können, wird zu jedem Fragment die als Vertex-Attribut kodierte Feature-ID ausgelesen, auf die entsprechende Feature-Klasse abgebildet und hierüber auf die definierte Stilisierung der Parametrisierungstextur referenziert. Für die Darstellung von Transparenzeffekten werden Fragmente mit Hilfe des „Stencil routed A-buffers“ (MYERS & BAVOIL, 2007) in Echtzeit verblendet. Hierzu werden okkludierende Fragmente zwischengespeichert und in einer Nachbearbeitung dynamisch sortiert, sodass die Ausgabe über eine reguläre Alphawert-Verblendung kumuliert werden kann.

Mit der echtzeitfähigen Stilisierung einzelner Feature-Klassen eröffnet sich eine breite Spanne an möglichen Konfigurationen für kartographische Gestaltungen der Visualisierung virtueller 3D-Stadtmodelle. Da die Stilisierung ein bekanntes Problem auf dem Feld der Computergrafik-Ästhetik und effizienten Kommunikation von Geoinformationen ist sowie die jeweilige Zielgruppe und ihre Bedürfnisse in Hinblick auf die dargestellten Szenarien bedacht werden müssen sind nur die wenigsten der möglichen Konfigurationen effektiv und effizient. In Abbildung 6 werden beispielhaft zwei Szenarien dargestellt: Eine Stilisierung für die Darstellung thematischer Informationen, z. B. auf Basis kontinuierlicher Meta-Daten, sowie der Illustration diskreter Objektzustände zur Kommunikation vom Baujahr und dem Konstruktionsstatus von Gebäuden.

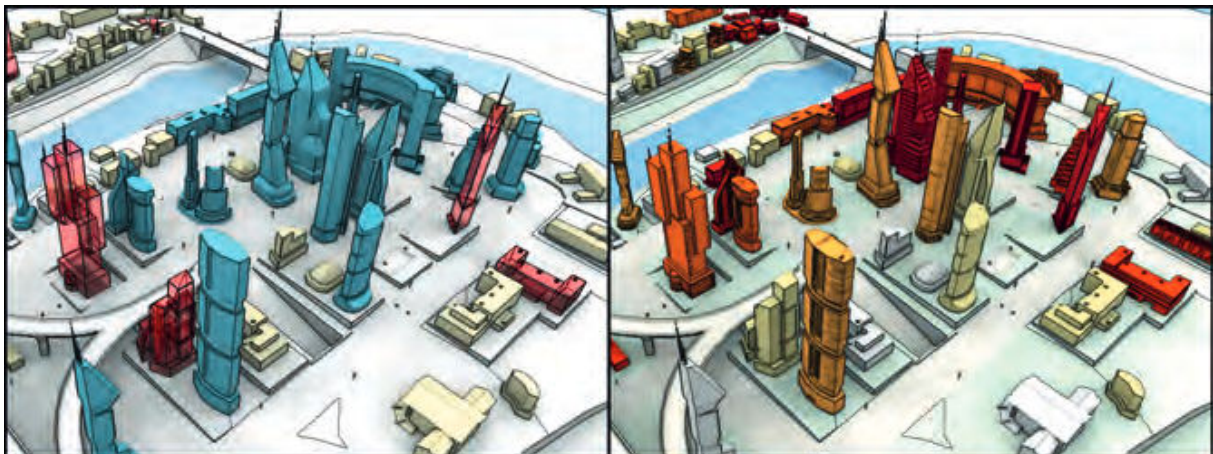


Abb. 6: Links: Darstellung thematischer Daten von Gebäuden. Rechts: Darstellung des Baujahrs und Konstruktionsstatus von Gebäuden.

6 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde konzeptionell und technisch ein Ansatz zur semantik-basierten kartographischen Gestaltung von Visualisierungen virtueller 3D-Stadtmodelle vorgestellt. Es wurde das Potential der Kopplung der Verfahren zur Stilisierung mit semantischen Informationen anhand von Abstraktions- und Hervorhebungstechniken gezeigt. Insbesondere Anwendungsgebiete, die auf einer Darstellung thematischer Informationen und deren effizienten Kommunikation beruhen, profitieren von einer semantik-basierten, kartographischen Darstellung. Dieser Ansatz zeigt, dass das große Potential computergrafischer Hardware und Verfahren auf die spezifischen Bedürfnisse der Visualisierung raumbezogener Informationen nutzbringend angewendet werden kann. Darüber hinaus zeigt es ansatzweise, wie zukünftige,

qualitativ hochwertige raumbezogene Visualisierungsdienste, z. B. im Bereich Web-Mapping und mobile Karten, technisch realisiert werden können.

Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und ist Teil der InnoProfile Nachwuchsforschergruppe 3D-Geoinformationen (www.3dgi.de).

Literaturverzeichnis

- BREWER, C. A., 1994: Color Use Guidelines for Mapping and Visualization. Visualization in Modern Cartography, Kapitel 7, S. 123-147.
- BERANN, H. C.: The world of H.C. Berann, <http://www.berann.com> (letzter Zugriff: Febr. 2011).
- BUCHIN, K., SOUSA, M. C., DÖLLNER, J., SAMAVATI, F & WALTHER, M., 2004: Illustrating Terrains using Direction of Slope and Lighting, 4th ICA Mountain Cartography Workshop, S. 259-269.
- CITYGML, 2008. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Open Geospatial Consortium Inc., <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>.
- COLE, F., DECARLO, D., FINKELSTEIN, A., KIN, K., MORLEY, K. & SANTELLA, A., 2006: Directing Gaze in 3D Models with Stylized Focus, Eurographics Symposium on Rendering, S. 377-387.
- DÖLLNER, J., BUCHHOLZ, H., NIENHAUS, M. & KIRSCH, F., 2005: Illustrative Visualization of 3D City Models. Visualization and Data Analysis, SPIE, S. 42-51.
- DÖLLNER, J. & WALTHER, M., 2003: Real-Time Expressive Rendering of City Models, IEEE Information Visualization, S. 245-250.
- GLANDER, T. & DÖLLNER, J., 2008: Techniques for Generalizing Building Geometry of Complex Virtual 3D City Models, Advances in 3D Geoinformation Systems, S. 281-400.
- GOOCH, A., GOOCH, B., & COSTA-SOUSA, M., 2011: Illustrative Visualization: The Art and Science of Non-Photorealistic Rendering, Taylor & Francis Ltd.
- HAGEDORN, B., HILDEBRANDT, D. & DÖLLNER, J., 2009: Towards Advanced and Interactive Web Perspective View Services, Developments in 3D Geo-Information Sciences, S. 33-51.
- KYPRIANIDIS, J. E. & DÖLLNER, J., 2008: Image Abstraction by Structure Adaptive Filtering, EG UK Theory and Practice of Computer Graphics, S. 51-58.
- MYERS, K. & BAVOIL, L., 2007: Stencil routed A-Buffer, ACM SIGGRAPH 2007 Sketches.
- SANTELLA, A., 2005: The Art of Seeing: Visual Perception in Design and Evaluation of Non-Photorealistic Rendering, PhD thesis, Rutgers University.
- SEMMO, A., KYPRIANIDIS, J.E. & DÖLLNER, J., 2010: Automated Image-Based Abstraction of Aerial Images, Proceedings of the 13th AGILE International Conference on GI Science, S. 359-378.
- STROTHOTTE, T. & SCHLECHTWEIG, S., 2002: Non-Photorealistic Computer Graphics, Morgan Kaufmann Publishers.
- WARE, C., 2000: Information Visualization: Perception for Design, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.

ZIPF, A., 2005: Using Styled Layer Descriptor (SLD) for the Dynamic Generation of User- and Context-Adaptive Mobile Maps - A Technical Framework, W2GIS, S. 183-193.